

ESTUDIO DE EFICIENCIA Y ADAPTABILIDAD DE COCINAS SOLARES DE BAJO COSTO EN NÚCLEOS HABITACIONALES PERI – URBANOS

F. Filippin¹, A. Iriarte^{2,4} y L. Saravia^{3,4}
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCa
Avda. Belgrano 300 C.P. 4700, filippin18@hotmail.com

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia térmica y la adaptabilidad de cocinas solares tipo caja en condiciones reales en una familia de bajos recursos en el valle central, en comparación con sistemas de cocción convencionales. La cocina solar tipo caja que se utilizó en este ensayo fue una cocina tanque y como sistema tradicional una cocina convencional a gas, un fogón abierto y un brasero de alto rendimiento. Para la caracterización de cada dispositivo se determinó el tiempo que tarda en llegar al punto de ebullición el agua, radiación normal, consumo de gas y leña. Los resultados obtenidos muestran el comportamiento de los distintos dispositivos en condiciones reales de uso, reflejando un ahorro de leña y gas, con la utilización de la tecnología solar y el brasero de alto rendimiento, como alternativa para la cocción de alimentos.

Palabras clave: cocina solar, cocina caja, cocina tanque, consumo de gas y leña

INTRODUCCIÓN

La preparación de alimentos está entre las preocupaciones más relevantes de las comunidades rurales del valle central y representa una importante exigencia energética que no resulta fácil satisfacer. Los requerimientos energéticos de la cocción de alimentos dependen de la tecnología utilizada.

Un fogón abierto, consume gran cantidad de leña porque pierde calor por convección y radiación al exterior en todas direcciones. El brasero de alto rendimiento confina el fuego en un recinto cerrado y recubierto de material de acero, lo que permite controlar el flujo de aire que alimenta la combustión.

En las cocinas a gas convencional el fuego tiene una temperatura muy elevada, de ahí su característico color azul, lo que permite cocinar con una llama muy pequeña y colocada muy cerca del centro de la base de la olla, reduciendo así las posibilidades de perder el calor.

Existen varios métodos y tecnologías para procesar alimentos utilizando la energía solar, lo cual reduce la dependencia de los combustibles fósiles. La cocción solar permite aumentar la calidad del producto cuando la comparamos con los métodos tradicionales de procesamiento de alimentos y permite crear oportunidades sostenibles en la economía local.

Para evaluar el comportamiento térmico de las cocinas solares se realizan pruebas, del tiempo que demora en calentar una determinada carga y el cálculo de la potencia absorbida al calentar una masa de agua. En el protocolo de ensayos para la evaluación de cocinas solares elaborado por la Red Iberoamericana de Energía solar, RICA, se presentan las normas de ensayos para cocinas y hornos solares para su evaluación térmica, ergonómicas de seguridad, mantenimiento y calidad de materiales (Castell et al, 1999 a y Castell et al, 1999b).

En el presente trabajo se evalúa la eficiencia y adaptabilidad de una cocina solar tipo caja en un núcleo familiar de bajos recursos en zonas periurbanas del valle central de la Ciudad de Catamarca, siguiendo las sugerencias del protocolo de ensayos de cocinas solares (RICA 2002). Se han realizado experiencias de un test de calentamiento de agua en los diferentes dispositivos de cocción de alimentos. Se presentan los ensayos realizados y los resultados del tiempo en alcanzar el punto de ebullición del agua, peso de la carga en kg, radiación normal en W/m^2 y consumo de gas y leña en kg. Con el propósito de transferir con éxito la cocina tanque se realizaron experiencias de cocción en base a recetas específicas aportadas por el grupo familiar comparando con cada uno de los dispositivos de cocción tradicional.

ANTECEDENTES

La comunidad está integrada por tres familias, 17 niños, 7 jóvenes y 5 adultos. Esta comunidad utiliza la leña de la zona como material combustible en gran medida, ya que es la forma más tradicional de cocinar sus alimentos. Cabe aclarar que cuentan con la posibilidad de utilizar gas pero por una cuestión de ahorro no lo hacen en gran medida.

¹ Becario UNCa

² INENCO, FCA - UNCa

³ INENCO, UNSa

⁴ Investigador del CONICET

La cocción de alimentos es una actividad que se realiza 3 veces al día con desayuno, almuerzo y merienda. El desayuno es una actividad que comienza entre las 7 y 9 horas de la mañana, dependiendo de las responsabilidades de cada miembro de la familia. En total se hierven 10 litros de agua en un fogón abierto de ladrillos con un consumo de 5kg de leña (paraíso, tucas, algarrobo). En el almuerzo (13h), las comidas habituales son: guiso, loco, puchero, estofados, carbonada y empanadas. Con un total de 12kg de comida se consumen 16kg de leña. En la merienda se repite lo mismo del desayuno. La comunidad cuenta con un horno de barro con el cual hornean 15kg de pan a la semana con un consumo de 22kg de leña en 4 horas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicó una metodología experimental, utilizando un modelo de cocina solar tipo caja (cocina tanque), un brasero de alto rendimiento, cocina convencional a gas y cocina a fogón abierto. Se realizaron pruebas de funcionamiento en los diferentes dispositivos, evaluando el desempeño de cada uno de estos sistemas. Una experiencia consistió en el calentamiento de agua hasta alcanzar el punto de ebullición, que se toma de referencia, y otra donde se miden los consumos de combustible en una cocción específica. Se describen a continuación cada uno de los sistemas utilizados y los sistemas de medición.

1- Cocina Tanque

La cocina solar tipo caja ensayada está construida utilizando un tambor de 200 litros cortado por la mitad a lo largo de su eje. A la misma se le coloca una tapa con un marco de madera y un doble vidrio; y reflectores de aluminio de buena reflectividad. El reflector gira para acomodarse al ángulo del sol y el semicilindro se apoya sobre una base para facilitar el movimiento de la cocina (Saravia 2003), figura 1a.

El interior de la cocina está formado por una chapa ondulada pintada de color negro mate, esta sirve para apoyar en forma firme una chapa gruesa, sobre la cual se coloca la olla para favorecer su calentamiento. Las dimensiones de la “cocina tanque” son de 0,58 m de diámetro y su longitud es de 0,88 m. La profundidad útil de la cocina es de 0,20 m. El recipiente es una olla recta de aluminio con tapa pintada de negro mate de 24cm de diámetro y 11cm de fondo, con una capacidad de 4,2 litros. Es el tipo de olla usual en la cocción de alimentos y es tomada como el recipiente de referencia para este estudio.



Figura 1a. Vista de la cocina Tanque con la olla en su interior

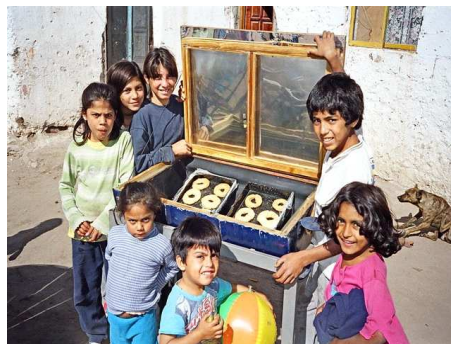


Figura 1b. Cocina Tanque en la comunidad

Sistemas de medición

Las mediciones de temperatura se realizaron mediante termopares de chromel - alumel, dada sus características de rápida respuesta, exactitud y bajo costo, conectados a un termómetro digital APPA 55. Todos los termopares utilizados se protegieron de las temperaturas elevadas mediante una manga de fibra de vidrio.

La radiación se registró mediante un piranómetro tipo KIPP & ZONEN, donde se registró una radiación superior a 700 W m^{-2} en el plano que contiene la superficie de apertura de la cocina tanque.

La velocidad del viento se midió con un anemómetro de cazoleta a la altura de la cocina tanque.

Determinación de la Potencia y eficiencia energética

Este ensayo ha sido realizado siguiendo las normas que indica el protocolo de RICSA

Cálculo de la Potencia de Cocción: Se calcula como la diferencia de temperatura entre medidas sucesivas multiplicado por el calor específico del agua (C_{pw}) y la masa de agua colocada (m), dividida por los 900 segundos contenidos en los 15 minutos de intervalos.

Graficación: Se grafican las curvas de potencias encontradas, por la olla convencional en función de la diferencia de temperatura interior ($T_{a,in}$) y exterior ($T_{a,ex}$) para cada intervalo. Se utiliza la diferencia de temperatura en razón de que las pérdidas de calor se incrementan con la diferencia entre la temperatura interior de la cocina y su medioambiente inmediato.

Cálculo de la eficiencia energética: Considera la relación de la potencia útil absorbida por la olla y la potencia solar incidente:

$$\eta = \frac{mc_{pw}(T_{wf} - T_{wi})}{AI_t} \quad (1)$$

Donde el numerador indica la potencia de cocción absorbida por la olla en w, A el área de apertura de la cocina tanque en m² e I_t la radiación solar promedio que incide perpendicularmente sobre el plano de la cocina solar, medido en W/m².

2- Fogón abierto. Brasero de alto rendimiento

En la mayoría de los casos, la biomasa se quema en los fogones abiertos. Estos dispositivos, la combustión se da de manera incompleta, lo que provoca emisiones de partículas y gases contaminantes, que a su vez provocan serios problemas de salud.

En la figura 2a se observa el fogón tradicional abierto, el cual tiene una pared de ladrillo de protección en forma de U. La energía producida por la quema de leña no es aprovechada en su totalidad con una eficiencia energética muy baja, ocasionando que se usen grandes cantidades de leña y una fuerte presión sobre los recursos de biomasa de la zona.

En la figura 2b se puede apreciar el brasero de alto rendimiento. Es una cocina a leña de fuego cerrado, las paredes de chapa algo gruesa encierran al fuego evitando que el calor producido en la combustión se pierda en el aire que lo rodea. Las dimensiones son 650mm de alto y 400mm de diámetro. En el interior del cilindro se coloca la olla de referencia antes descripta sobre un soporte dejando un espacio entre las paredes interiores del cilindro y la cámara de combustión. Una rejilla dentro de la cámara de combustión permite que el aire pase debajo de la leña asegurando la circulación de aire en forma óptima en la cámara de combustión. Para una quema más eficiente se deben colocar ramas pequeñas en dicha cámara. Con este dispositivo disminuye el consumo de leña por lo cual ahorra tiempo y dinero en la recolección y compra de leña.

Para ambos dispositivos se determina el peso (kg) de leña consumida y el tiempo (minutos) en calentar una masa de agua hasta alcanzar el punto de ebullición. La eficiencia energética se calcula como la razón de la energía útil que absorbe la olla y la energía consumida por la leña. Para el contenido energético de la leña, que depende del grado de humedad y de la variedad de la madera, se estimó la cifra de 14MJ/kg

$$\eta = \frac{mc_{pw}(T_{wf} - T_{wi})}{E_{leña}} \quad (2)$$



Figura 2a. Fogón abierto



Figura 2b. Brasero de alto rendimiento

3- Cocina convencional a gas

La cocina convencional a gas figura 3, tiene 860mm de alto, 500mm de ancho y 550mm de profundidad, contiene cuatro hornallas chicas y horno visor. Por la ubicación de sus quemadores y conductos, la distribución del calor es homogénea, con una potencia de hornalla de 900 kcal/h. La eficiencia energética de cocinar con gas se entiende como la razón entre el calor comunicado al agua y el contenido energético del gas quemado. De acuerdo a datos del ente nacional regulador del gas, el poder calorífico del gas envasado se tomó 49MJ/kg

$$\eta = \frac{mc_{pw}(T_{wf} - T_{wi})}{E_{gas}} \quad (3)$$



Figura 3. Cocina convencional a gas

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Todos los ensayos se realizaron con días soleados y velocidades de viento menores a 2ms^{-1} , para las experiencias realizadas con la cocina solar tipo tanque. Cada ensayo consistió en determinar el punto de ebullición del agua en cada uno de los diferentes dispositivos, evaluando tiempo en alcanzar la ebullición, peso de la carga, radiación normal y consumo de gas y leña. Se realizaron además ensayos para comparar el funcionamiento de comidas específicas en los diferentes sistemas de cocción.

Cocina Tanque

El ensayo se inició a las 10:30 a.m. con la Cocina Tanque orientada de manera que los rayos solares sean normales al plano de la cubierta de vidrio de $0,33\text{m}^2$, reorientando la cocina cada 20 minutos.

En la figura 4 se muestra la curva de calentamiento para la olla de referencia, la temperatura ambiente y la radiación normal al plano de la cubierta del vidrio en función del tiempo. En el punto de inicio del ensayo la temperatura de masa de agua en el interior de la olla es prácticamente igual a la temperatura ambiente y las pérdidas de calor son nulas. La curva presenta una zona de mayor pendiente al inicio del ensayo donde se produce el máximo calentamiento de la carga en la olla. A medida que la temperatura crece la pendiente de la curva disminuye y se anula al alcanzar el punto de ebullición. En este periodo la masa de la olla alcanza una temperatura generalmente estable y la radiación solar que llega solo mantiene la pérdida de calor y no calienta la masa en la olla. Con una radiación promedio de 954 W/m^2 , el tiempo en alcanzar la ebullición de la masa de agua fue de 165 minutos y una eficiencia energética del 37%, calculada de acuerdo a la ecuación (1)

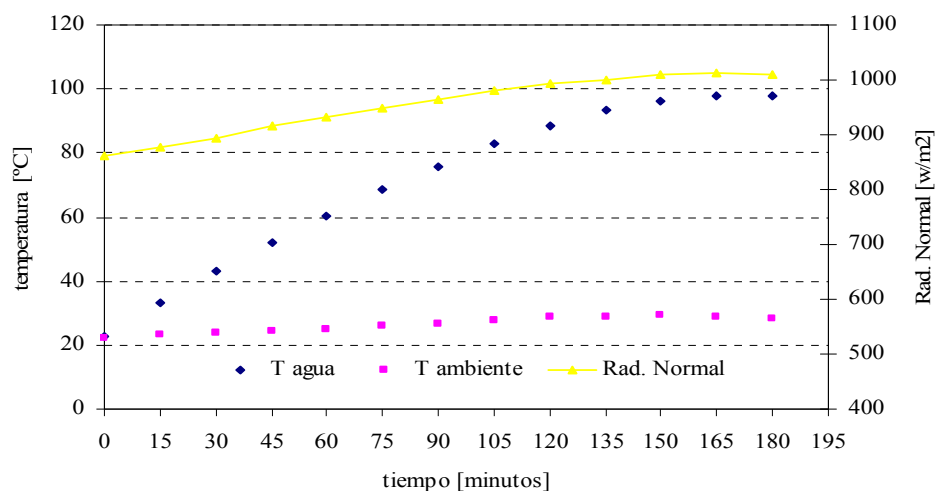


Figura 4: valores de las variables, temperatura del agua, ambiente y radiación Solar durante el calentamiento de 2,200 kg de agua

En la figura 5a, se puede observar la variación de la potencia absorbida en función de la diferencia de temperatura del agua en el interior de la cocina y la del ambiente exterior, evaluada según el protocolo RICSA. Se indica en el gráfico la regresión lineal y el coeficiente de correlación (R^2). La máxima potencia absorbida por la olla fue de 106 W al inicio del ensayo, la potencia va disminuyendo conforme aumenta la diferencia de temperatura entre el interior de la cocina y el ambiente exterior. La potencia estándar, definida por la RICSA, a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia de temperatura interna y externa, fue de 57 W.

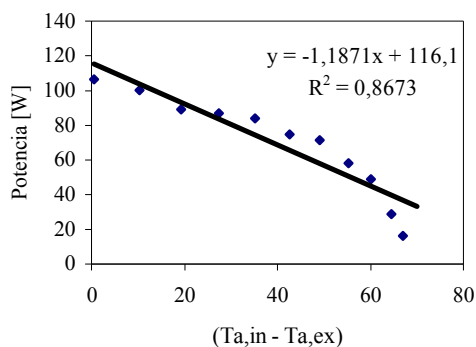


Figura 5a: Potencia de cocción en función de la temperatura interior - exterior

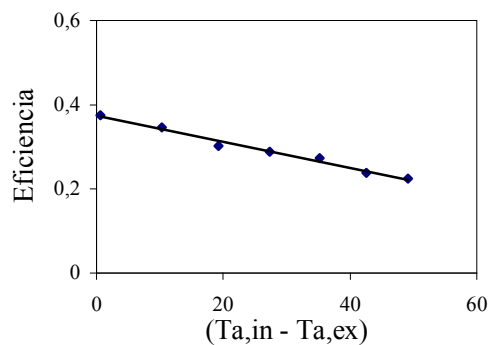


Figura 5b: eficiencia térmica del sistema en función de la temperatura interior - exterior

Considerando la relación de potencia útil y potencia solar incidente, se puede indicar la eficiencia térmica del sistema. La figura 5b muestra los valores de eficiencia del sistema en función de la diferencia de temperatura del agua en el interior - exterior. Como se puede observar, la eficiencia varía entre 20% y 40%, rendimiento usual para las cocinas solar tipo caja.

Cocina convencional gas – leña

La figura 5 muestra las curvas de calentamiento para los tres sistemas de cocción convencional, proceso llevado a cabo hasta alcanzar la ebullición de una masa de 2,200 kg de agua. Se puede apreciar el tiempo en alcanzar el punto de ebullición en cada uno de los dispositivos, donde el sistema a gas llega a este punto con un tiempo de 12 minutos. Se observa la diferencia de la velocidad de absorción de calor, como la inclinación de la pendiente al inicio de los ensayos, siendo la cocina a gas con una mayor pendiente que el resto, marcando una importante diferencia en su uso para la cocción de alimentos.

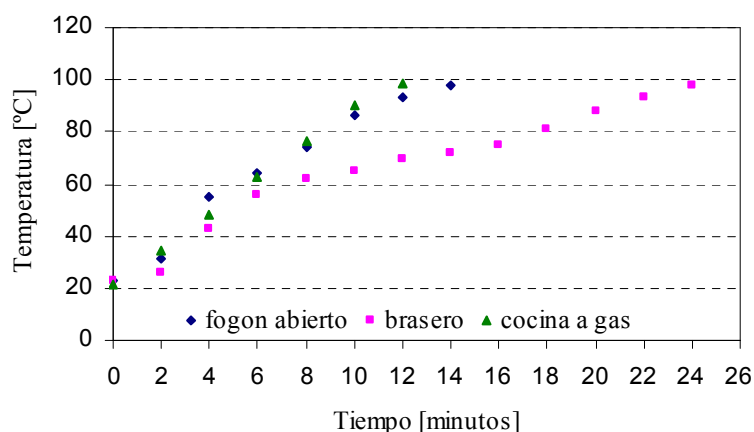


Figura 4: valores de las variables, temperatura del agua, ambiente y radiación Solar durante el calentamiento de 2,200kg de agua

En la Tabla 1 se detallan el tiempo en alcanzar la ebullición del líquido, consumo de gas, consumo de leña, potencia máxima absorbida y eficiencia energética para cada uno de los dispositivos antes descritos.

Dispositivo	Tiempo en llegar a la ebullición [min]	Eficiencia energética [%]	potencia máxima absorbida [W]	consumo [kg]
Fogón abierto	14	3,5	622	1,400 leña
Brasero de alto rendimiento	24	10,9	215	0,450 leña
Cocina a gas	12	5,7	952	0,250 gas
Cocina solar	165	37	106	---

Tabla 1: Comparación de distintos dispositivos

Como se puede observar el brasero de alto rendimiento puede ahorrar más del 50% del consumo familiar de leña con respecto al fogón abierto. La cocina de fogón abierto es la que tiene mayor consumo de leña, la gran cantidad de humo que produce y la utilización de leña gruesa.

Resultados del funcionamiento de comidas específicas en los diferentes sistemas de cocción.

Se realizó una prueba de cocción controlada, de una comida específica (2,200 kg de estofado de carne) en un día soleado, comparando la cocina solar con los sistemas convencionales. El tiempo de cocción en los sistemas convencional a leña, el fogón abierto y el brasero de alto rendimiento, fueron de 40 y 50 minutos respectivamente con un ahorro del 67% de leña del brasero con respecto al fogón abierto. La cocina tanque demandó un tiempo de 180 minutos con una radiación solar promedio, durante el proceso de cocción, de 955 W/m². La cocina convencional a gas alcanzó en menor tiempo el punto de cocción con 32 minutos y un consumo de 0,270 kg de gas envasado, siendo este el dispositivo de menor uso en la comunidad por el elevado costo de la garrafa a gas.

Para lograr que la comunidad se apropien del uso diario de la cocina solar, lo cual implica un cambio de costumbres, se realizaron talleres semanales donde se cocinó en conjunto con los participantes diferentes tipos de comidas en la cocina solar para demostrar su uso y manejo, en conjunto con el brasero de alto rendimiento, sin la intervención del fogón abierto y la cocina a gas. Se instituye un rol donde cada día dos miembros de la comunidad cocinan para familiarizarse en el uso y la adaptabilidad de las cocinas solares. De esta manera se ha logrado asegurar que la cocina solar se ha utilizado en un 75% en este periodo. Se han observado en los registros la cocción básica de su alimentación usual en tiempos dentro de lo ensayado en el taller. Se muestra un fuerte uso del brasero en días nublados dejando de lado prácticamente el fogón abierto.

CONCLUSIONES

Se evaluó la eficiencia térmica y la adaptabilidad de una cocina solar tipo caja en condiciones reales en una familia de bajos recursos, comparando estos resultados con los sistemas de cocción convencionales.

Las experiencias realizadas en este primer semestre del proyecto muestra como la cocina solar puede sustituir parcialmente a las energías convencionales para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. Se destacan los siguientes valores:

- Son utilizados 1kg de leña por persona por día en la comunidad y 203kg es la suma de lo que consumen los miembros en una semana cocinando en el fogón abierto.
- En el taller semanal realizado por parte de los miembros de la comunidad, el consumo promedio de leña con el uso combinado de la cocina solar y el brasero fue de 85kg, siendo el ahorro de leña del 58% en la semana.
- En un periodo semanal de adaptación de la cocina solar, el uso del fogón abierto fue nulo, siendo mínimo la cocción en la cocina a gas utilizándolo únicamente en los días nublados o de baja radiación.
- Con este ahorro del 58% de leña semanalmente el núcleo familiar ahorra tiempo y dinero en la recolección y compra de leña.
- El uso del brasero y la cocina tanque es la manera mas efectiva de enfrentar la problemática del uso doméstico de la biomasa.

REFERENCIAS

- Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vasquez L., Esteves A. (1999a). Propuestas de procedimiento para la evaluación del comportamiento térmico de cocinas y hornos solares. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 2, pp.08-129-132.
- Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vasquez L., Esteves A. (1999b). Propuestas de procedimiento para la evaluación de las características físicas, ergonómicas, de seguridad, de calidad de materiales y de mantenimiento de cocinas y hornos solares. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 2, pp.08-133-136.
- Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Fonseca S., Esteves A. (2000). Protocolo de cocción solar de RICSA. Apreciaciones respecto de la determinación de la energía y la carga para determinar la potencia efectiva de cocción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, pp.03-77-80.
- Saravia L., Caso R., Fernández C. (2003). Cocina solar de construcción sencilla. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 7, N° 1, pp.03-13-17.

ABSTRACT. The objective of the present work is to evaluate thermal effectiveness of the solar box cookers and their adaptability particularly in families with scarce economical resources of the Central Valley, in comparison to the traditional cooking methods. The solar box cooker used on this test was tank cooker and, as a traditional cooking method it was used a gas (liquated gas, "butane") cooker, an outdoor cooking place and a high-efficiency cookstove. The analysis is based on the time required to reach the boiling point, normal radiation, liquated gas and firewood consumption. The results here obtained reveal the behavior and performance of the different devices in real social conditions which gave as a result not only firewood and gas saving but also another alternative to cook foods buy using solar technology and high-efficiency cookstove.

Key Words: Solar cooker, solar box cooker, tank cooker, liquated gas and firewood consumption.